

STANOVENIE DYNAMICKEJ BEZPEČNOSTI ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVY V PROSTREDÍ OTVORENÉHO TRHU S ELEKTRICKOU ENERGIU

(DYNAMIC SECURITY ASSESSMENT IN THE OPEN MARKET ENVIRONMENT)

Marián MEŠTER

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach,
Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, tel. 055/602 4145, E-mail: marian.mester@tuke.sk

SUMMARY

This paper deals with the perspectives and implementation of dynamic security assessment in the open market environment. Traditionally, preventive and corrective dynamic security measures have been developed from numerous off-line simulations. Recently, on-line security assessment tools have been developed a few of which have found their way to real system implementation. These tools differ in the methodology but they share the same concepts and fundamental blocks. This paper describes on-line dynamic security assessment methods as a part of the remedial stability control determination.

Keywords: dynamic security assessment, transient security assessment, security assessment, stability control, OMASES

1. ÚVOD

Prijatím Smernice 96/92EC Európskeho parlamentu a Rady Európy z decembra 1996 sa započali výrazne zmeny v energetickom priemysle európskych krajín. Základným zmyslom Smernice je tzv. unbundling, teda ohraničenie činností týkajúcich sa výroby, prenosu a distribúcie elektrickej energie a s tým súvisiace zmeny v prevádzke elektrizačných sústav (ES) jednotlivých štátov, ako aj celej prepojenej sústavy UCTE. Technické aspekty liberalizácie trhu s elektrickou energiou sa týkajú predovšetkým kvality riadenia sústavy ako v ustálenom stave, tak aj pri poruchách. Výsledkom týchto zmien bude z technického hľadiska fakt, že ES bude prevádzkovaná bližšie pri svojich fyzikálnych limitoch, pričom tieto sú medzou stability. Za účelom zachovania kvality služieb získava na dôležitosti zlepšovanie presnosti výpočtu týchto limitov. Pre zaistenie bezpečnej a kvalitnej dodávky elektrickej energie v rámci otvoreného trhu s elektrickou energiou vystupujú do popredia podmienky dynamickej bezpečnosti sústav.

2. DYNAMICKÁ BEZPEČNOSŤ SÚSTAVY

Cieľom stanovenia dynamickej bezpečnosti sústavy (DSA - Dynamic Security Assessment) je určenie, či daná prevádzková konfigurácia sústavy bude schopná udržať stabilitu okamžite po vzniku nepredvídanej udalosti (poruchy). Porucha môže mať za následok zničenie zariadení, prepätia, nadprúdy alebo odchýlky frekvencie. V závažných prípadoch môže nastať tzv. blackout teda rozpad sústavy. Nástroj pre analýzu dynamickej bezpečnosti sústavy by mal mať schopnosť analyzovať tieto stavy v reálnom čase, s výstupom umožňujúcim identifikovať nápravné opatrenia potrebné pre opätovné nadobudnutie stabilnej prevádzky.

DSA nástroj fungujúci v reálnom čase musí spĺňať nasledujúce požiadavky:

- *Spolahlivosť:* hardvérova aj softvérová platforma DSA nástroja musí pôsobiť vo všetkých prípustných operačných stavoch ES.
- *Presnosť:* táto vlastnosť patrí medzi najdôležitejšie v procese zaistenia dynamickej bezpečnosti. Všeobecný trend je, aby DSA nástroj dával výsledky porovnateľné s najlepšimi programami pre off-line výpočet.
- *Výkonnosť:* patrí medzi rozhodujúce požiadavky pri výbere on-line nástroja.

Proces stanovenia dynamickej bezpečnosti ES obsahuje niekoľko navzájom sa dopĺňajúcich postupov:

1. Predbežné spracovanie (preprocessing).
2. Stanovenie bezpečnosti (security assessment).
3. Následné spracovanie (post-processing).
4. Riadenie a integrácia procesov (process control and integration).

Etapa predbežného spracovania zahŕňa výpočet ustáleného stavu, kontingenčnú analýzu a vyhodnotenie stavu ES. Pre výpočet ustáleného stavu je dôležité presné digitálne meranie sledovaných veličín. Pre kontingenčnú analýzu a vyhodnotenie stavu ES slúžia rôzne postupy a metódy: expertné systémy, neurónové siete, prechodné energetické funkcie alebo rozšírené kritérium plôch [1]. Všetky uvedené algoritmy spĺňajú dve základné požiadavky: rýchlosť a presnosť výpočtu.

Stanovenie bezpečnosti ES patrí ku problematickým častiam DSA analýzy. Najpresnejší spôsob stanovenia dynamickej bezpečnosti je časová simulácia prechodného javu. Vzhľadom na fakt, že výpočet zložitej ES, popísanej množstvom algebraicko-diferenciálnych rovníc je podstatne dlhší ako priebeh samotného prechodného javu, hľadajú sa redukčné techniky na elimináciu tohto nepriaznivého stavu. Na jednej strane sa vývoj zameriava na vylepšeníu hardvéru cestou paralelných architektúr a na druhej strane sa hľadajú

rýchlejšie algoritmy, založené na prvkoch umelej inteligencie (štatistické rozpoznávanie vzorov, umelé neurónové siete, metódy učiacich strojov), na Ljapunovej funkcii a postupy z oblasti nelineárnych dynamických systémov.

Fáza následného spracovania pozostáva z nasledujúcich krokov:

- Určenie stupňa (hranice) stability/nestability.
- Stanovenie citlivosti hraníc stability vzhľadom na prenosové schopnosti sústavy.
- Definovanie prenosových limitov a návrh opatrení pre riadenie stability ES.

Analýza DSA súvisí s prieskumom veľkého množstva dát, s využitím riadiacich skúseností z minulosti a so schopnosťou rýchleho rozhodovania na kvalitatívnej aj kvantitatívnej úrovni. Pri riešení DSA je potrebné uvažovať s veľkým množstvom prípadov (eventualít), a tak je potrebné urobiť obrovský kontingenčný výber. Navyše sa od DSA nástroja očakávajú preventívne a nápravné akcie za účelom doviesť ES do bezpečnejšieho stavu alebo zabrániť jej degradácii po poruche

3. PROJEKT OMASES

V rámci 5. Rámcového programu EÚ bol financovaný projekt OMASES (Open Market Access and Security assessment System), ktorý bol zameraný na problematiku dynamickej bezpečnosti ES v prostredí otvoreného trhu s elektrickou energiou. Začal v roku 2001, trval 2,5 roka a zúčastnilo sa ho takmer 30 odborníkov z celej Európy [2]. Cieľom projektu bolo:

- Poskytnúť transparentnú metodiku pre stanovenie dynamickej stability siete, pre potrebu zmeny topológie, reštrukturalizácie výroby alebo odpojenie záťaže.
- Zvýšenie toku výkonov na elektrických vedeniach výpočtom dynamických riadiacich limitov.
- Redukcia prípadov na vedeniach, vyplývajúcich z problémov so stabilitou pomocou simulácie dynamických javov.
- Zlepšenie rozloženia výroby výpočtom väzieb blokov v súlade s dynamickými limitmi a potrebou trhu.
- Nastavenie ochrán na presnejšie hodnoty buď off-line alebo on-line (podľa schopnosti zariadenia) vybavením inžinierskymi nástrojmi schopnými adekvátne reprodukovat' dynamické správanie ES.
- Poskytnúť vylepšený dynamický simulačný nástroj pre tréning dispečerov v reálnom čase.

Celková štruktúra projektu OMASES zahŕňa nástroje pre stanovenie dynamickej stability (TSA – Transient Stability Assessment), napät'ovej stability (VSA – Voltage Stability Assessment), tréningový simulátor pre operátorov (TS) a simulátor trhu s elektrickou energiou (MS – Market Simulator).

OMASES je určený na nasadenie do existujúcich riadiacich energetických systémov (EMS – Energy Management System), alebo na vytvorenie novej EMS štruktúry. DSA nástroje môžu byť vyžívané v nasledujúcich režimoch:

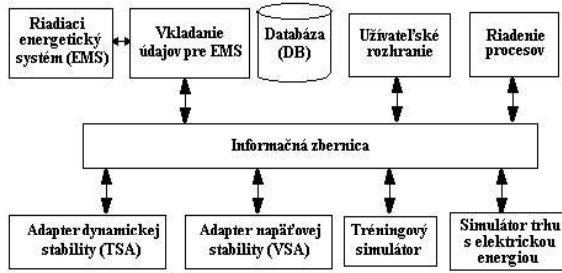
- *Inžiniersky režim*: je to off-line aplikácia TSA a VSA štúdie s využitím pravidiel otvoreného trhu alebo bez neho a využije sa predovšetkým pre plánovanie.
- *Real-time režim*: je využívaný ako DSA nástroj pre operátorov trhu. Nástroj je efektívne využitý počas riadenia systému pre poskytnutie výstražnej signalizácie súvisiacej s dynamickou bezpečnosťou ES.
- *Tréningový režim*: je využívaný ako DSA nástroj pre výcvik operátorov EMS. V tomto prípade sú EMS a ES samotné nahradené simulačným prostriedkom a HMI-prepojením (HMI – Human Machine Interface). Operátor si vypestuje návyk na DSA nástroje a dynamiku ES, naučí sa vytvárať analýzy (budúce scenáre, po-udalostné analýzy atď.) na existujúcich ES a/alebo na experimentálnych. V tomto režime môžu byť použité pravidlá voľného trhu za účelom vytvorenia reálnych operačných stavov.

V tomto kontexte je EMS v podstate poskytovateľ dát zo siete v reálnom čase pre zásobovanie analytických funkcií, ktoré vykonávajú analýzu dynamickej stability a simuláciu trhu. Keďže niektoré tieto funkcie bežia kontinuálne v pseudo-real-time režime budú schopné detekovať kritické situácie a varovať dispečera pred potenciálnym rizikom. Detailné výsledky z analytických funkcií budú k dispozícii pre operátorov k ďalšej analýze na odhaľovanie problémov a na implementáciu odporúčaných korekcií.

Predkladaná softvérová architektúra je založená na distribuovanej architektúre, ktorá poskytuje spájanie s EMS na základe voľnej väzby. Komunikačná infraštruktúra je založená na Message-Oriented-Middleware (MOM) funkcii a na centralizovanom zdroji dát. Globálny rámec, ktorý bude predstavovať DSA zariadenie je na obr. 1 a obsahuje:

- Existujúce EMS zariadenie, ku ktorému bude OMASES pripojený spôsobom poskytujúcim zdieľanie súborov pre komunikáciu.
- Dátový server, ktorý obsahuje zdieľané informácie, databázové systémy, atď.
- Jeden alebo viac systémov využívaných pre prepojenie jednotlivých užívateľov.
- Jeden alebo viac systémov využívaných pre hosťujúce výpočtové procesy.
- LAN systém pre komunikáciu medzi PC.

Základným cieľom OMASES architektúry je minimalizácia množstva zmien, ktoré sú vyžadované v existujúcom EMS systéme. Existujú v podstate dve cesty ako je možné využiť OMASES systém:



Obr. 1 Celková EMS-OMASES architektúra [2]
Fig. 1 Overall EMS – OMASES architecture [2]

- Prvá možnosť, kedy je OMASES pripojený na EMS systém. V tejto konfigurácii EMS "krmi" OMASES s výpočtami siete a výpočet analýzy dynamickej stability je periodický a synchronizovaný s prenosom dát z EMS. Aj keď je časová perióda výpočtu DSA v rozmedzí 15 minút, tento režim je považovaný za real-time.
- Druhá možnosť, pri ktorej môže byť OMASES pripojený ku EMS alebo nemusí. V tejto konfigurácii sú DSA funkcie a/alebo simulačné funkcie ako TS a MS spúšťané manuálne užívateľom. Tento režim je označovaný ako študijný režim.

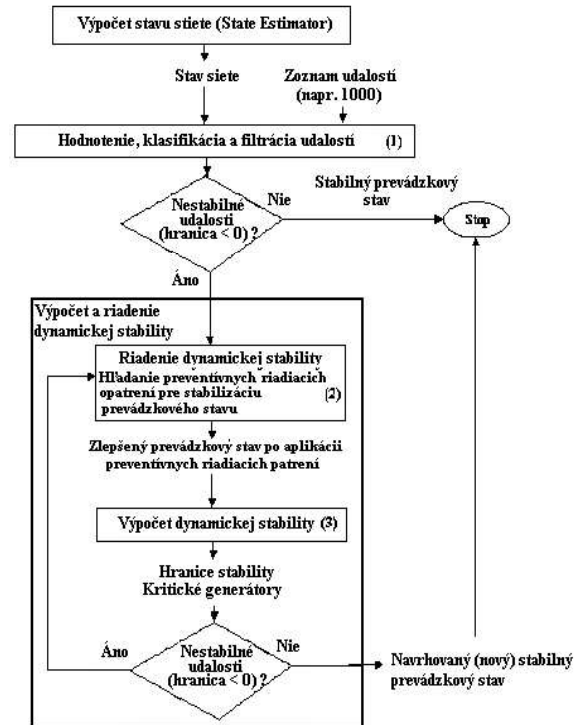
4. VYŠETROVANIE DYNAMICKEJ STABILITY (TSA)

Schematický prehľad TSA algoritmu a nástroja pre riadenie dynamickej stability (TSA&C) v rámci projektu OMASES je na obr.2. Teoretický podklad tvorí metóda SIME (Single Machine Equivalent Method) nástroj, ktorý bol vyvinutý na Univerzite v Liege. SIME je hybridná metóda na vyšetrovanie dynamickej stability. Jej veľkou výhodou je vo všeobecnosti jej schopnosť využitia detailného modelu ES zariadení a riadenia v najmodernejšom simulačnom prostredí [3]. Vlastná SIME metóda transformuje trajektórie viacstrojovej ES, získané časovým riešením, na trajektóriu jedného ekvivalentného stroja a tuhej siete (OMIB-One Machine Infinite Bus System). SIME bol už spojený s viacerými programami s časovým riešením a rámci OMASES je simulačný program pre ES poskytnutý z EUROSTAGU [4].

SIME obnovuje parametre OMIB v každom časovom kroku časového riešenia programu, za účelom poskytnutia verného obrazu pre stanovenie dynamickej stability v ďalšom výpočte. Ďalej sú uvedené základné výpočtové schopnosti SIME:

Výpočet limitov stability: Hľadanie limitov stability (kritického času vypnutia (CCT) critical clearing time alebo limitu výkonu (power limits)) sa vo všeobecnosti opiera o výpočet hraníc a ich extrapolácie. Hľadanie je iteračné a prechádza simuláciou za sebou idúcich nestabilných stavov znižovaním prísnosti, ktorá je daná ich negatívnou hranicou. Simulácia zastane ihneď ako je identifikovaný stabilný prípad.

Kontingenčná filtrácia: SIME má dôležitú schopnosť detekcie nestability prvého kyvu, ale aj nestabilitu viacnásobného kývania. Detaily o metodike a jej aplikáciách na veľké ES je možné nájsť v [3].



Obr. 2 Integrovaná schéma vyšetrovania dynamickej stability on-line [2]

Fig. 2 An integrated Assessment and Control scheme [2]

Funkcie filtrácie, hodnotenia a stanovenia (Filtering, Ranking, and Asssment - FILTRA function) sú jedným z vedľajších produktov SIME. Približné hľadanie limitu stability prvého kyvu vo všeobecnosti vyžaduje iba dve nestabilné simulácie. V ďalšom prípade pri jemnejšej klasifikácii možno získať potenciálne škodlivé alebo škodlivé prípady použitím druhej simulácie s kratším časom vypnutia.

Riadenie dynamickej stability: Podľa definície, prípad, ktorý poskytuje zápornú hranicu je nestabilný. V princípe je stabilizácia ekvivalentná vymazaniu jeho negatívnej hranice. Pri zmene, zvyšovanie hranice do nuly možno zabezpečiť aktiváciou mechanického výkonu na OMIB.

Funkcia TSA&C obsahuje nasledujúce kroky, ktoré sú vyznačené na obr. 2:

- výstup so stavu siete (State Estimator) poskytuje dáta pre výpočet ustáleného stavu (Load Flow) za účelom identifikácie stavu ES,
- dynamická bezpečnosť tohoto prevádzkového stavu je stanovená z ohľadom na daný zoznam možných nežiadúcich prípadov v integrovanej TSA&C schéme. Táto schéma je zložená z FILTRA (blok 1 na obr. 2) a zo združeného bloku obsahujúceho bloky 2 a 3.

FILTRA identifikuje škodlivé možnosti z počiatočného veľmi veľkého zoznamu. Väčšina prípadov je takto vymazaná a zvyšné škodlivé sú posielané do TSA&C bloku (blok 2 na obr. 2), s informáciou poskytnutou FILTRou pre každý z nich: kritické stroje a hranice. S využitím týchto informácií blok riadenia dynamickej stability:

- (a) určí odpovedajúce riadiace akcie (zmeny činného výkonu na každom kritickom stroji) pre každý škodlivý prípad,
- (b) zostaví výsledné riadiace akcie pre výpočet množstva činného výkonu pre každý kritický stroj, ktoré sú nevyhnutné pre stabilizáciu množiny škodlivých prípadov.

Pre každý zo škodlivých prípadov je stanovená bezpečnosť nového prevádzkového stavu pomocou TSA bloku (blok 2 na obr. 2). Ak je ES stabilná pre všetky prípady, tak nový prevádzkový stav je prehlásený za stabilný a proces sa ukončí. Celý cyklus sa opakuje pokiaľ nie sú stabilizované všetky škodlivé prípady. SIME môže byť použitý vo všetkých troch typických aplikáciách definovaných pre OMASES:

- *Plánovanie rozvoja*: pre kontrolované prípady a pre účely citlivostnej analýzy (investície do zariadení FACTS a výskum možností útlmu oscilácii medzi oblasťami (interarea oscillation).
- *Plánovanie riadenia*: pre manažment problémov preťaženia a pre ATC výpočty (Available Transmission Capability).
- *Riadenie v reálnom čase*: v horizonte 30 minút vopred, t.j. v predbežnom režime, pre identifikáciu množiny prijateľných a pre identifikáciu škodlivých eventualít a stanovenie ich prísnosti, ďalej pre návrh opravných akcií pre operátora, potrebných pre stabilizáciu situácie, ktorá by sa mohla v danom prípade vyskytnúť.

Možnosti SIME v rámci DSA nástroja realizovaného v projekte OMASES:

- Výpočet hraníc dynamickej stability zodpovedajúce danému prípadu.
- Identifikácia kritických strojov zodpovedajúcich danému prípadu.
- Výpočet limitov dynamickej stability: CCT a výkonových limitov.
- Fitrácia eventualít, hodnotenie potenciálne škodlivých možností a stanovenie škodlivých: FILTRA softvér.
- Integrovaný program pre stanovenie dynamickej stability a riadenia (TSA&C) určený na stabilizáciu škodlivých eventualít.

Projekt OMASES bol úspešne testovaný na modeloch ES Talianska a Grécka [2].

5. ZÁVER

Elektrizačná sústava vysokého napätia v rámci Európy spájajúca jednotlivé štáty obsahuje približne 200000 km 220 kV a 400 kV prenosových vedení [2]. Je to mohutná sústava, v rámci ktorej je realizácia konkurenčného prostredia spojená s množstvom technickým problémom. Keďže bezpečnosť je dôležitým, ak nie je konečným cieľom riadenia ES, smeruje vývoj nových systémov riadenia od statického stanovenia bezpečnosti (založeného na intenzívnom výpočte toku výkonov), ku dynamickeému stanoveniu bezpečnosti. Jedným z prvých komplexných projektov, ktorý je možné nasadiť na existujúce EMS je OMASES. Jeho základné vlastnosti, týkajúce sa predovšetkým analýzy dynamickej stability ES boli spomenuté vyššie. Projekt však analyzuje aj napätovú stabilitu a môže byť využívaný aj ako tréningový simulátor pre operátorov trhu s elektrickou energiou. V kontexte augustových a septembrových rozsiahlych výpadkov elektrickej energie v USA, Švédsku a Taliansku nadobúda výskum v tejto oblasti ešte väčší význam.

LITERATÚRA

- [1] Tailor, C., W. et al : *Advanced Angle Stability Controls*, CIGRÉ Technical Brochure, December 1999. Source: www.transmission.bpa.gov/orgs/opi/CIGRE
- [2] Bihain, A., Burt, G., Casamatta, F., Koronides, T., Lopez, R., Massucco, S., Ruiz-Vega, D., Vournas, C.: *Advanced Perspectives and Implementation of Dynamic Security Assessment in the Open Market Environment*. Source: www.cigre.org, Session 2002, 39-101
- [3] Ernst, D., Pavella, M.: *Closed-loop Transient Stability Emergency Kontrol*, IEEE PES Winter Meeting 2000; Panel Session: "On-Line Transient Stability Assessment and Control", January 23-27 2000, Singapore. Source: www.montefiore.ulg.ac.be/~ernst/Closed-Loop.pdf
- [4] <http://www.eurostag.be>

BIOGRAPHY

Marián Mešter was born in 1973. He is graduated (MSc.) at the Department of Electric Power Engineering of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics at the Technical University in Košice in 1996. Since 1997 he has worked as an assistant professor on the Department of Electric Power Engineering. His research interests are power system stability and transient phenomena.